Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, Sep.-Oct. 2024, p. 511-524

Evaluation of Potassium Status in the Soils of Oak Forests of Kohgilouye and Boyerahamad Province

Z. Barati[1], H.R. Owliaie[2*], E. Adhami[2], M. Najafi-Ghiri[3]

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor, Soil Science Department, Yasouj University, Yasouj, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: owliaie@yu.ac.ir)
3- Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 04-08-2024 Revised: 07-09-2024 Accepted: 08-09-2024 Available Online: 08-09-2024	**How to cite this article:** Barati, Z., Owliaie, H.R., Adhami, E., & Najafi-Ghiri, M. (2024). Evaluation of potassium status in the soils of oak forests of Kohgilouye and Boyerahamad Province. *Journal of Water and Soil, 38*(4), 511-524. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.89206.1423

Introduction

Zagros oak forest ecosystem is one of the largest forest ecosystems under destruction in Iran, which is of great importance in terms of water and soil protection. Moisture stress in recent years has caused the deterioration of these forests in a wide area. Iranian oak (*Quercus brantii* Lindlb.) is the main tree species forming these forests. Potassium (K) is considered to be the most important nutrient cation in terms of its quantity in plant tissue and its physiological and biochemical functions. Soil tests measure the quantity of a nutrient element that is extracted from soil by a particular extracting solution. Over the years, many different soil testing methods and extracting solutions were evaluated to identify a technique that provides the most reliable prediction of crop yield response to nutrient application. It was determined that some soil testing procedures are best suited for particular soil types and climatic regions. There has been no research on the general status of K in the soil of Zagros forests, related to oak trees. It is important to identify appropriate potassium (K) extractants for assessing the available K in these soils. Therefore, this research was conducted to achieve these objectives in several forest areas within the province.

Materials and Methods

Ten forest areas with dominant coverage of oak trees were selected in different parts of Kohgiluyeh and Boyerahmad Province. The physiochemical properties of the soil samples were determined based on standard methods. Soil pH, texture, electrical conductivity, calcium carbonate equivalent (CCE), organic carbon, and cation exchange capacity (CEC) were identified. The content of K present in different forms was determined by standard methods. Solution K was measured in the saturated extract. Exchangeable K was determined by extraction of 5 g soil sample with 20 mL 1 M NH_4OAc (pH 7) for 5 min. Nitric acid-extractable K was measured by extraction of 2.5 g soil sample with 30 mL of boiling 1.0 M HNO_3 for 1 h. Non-exchangeable K was calculated as the difference between HNO_3-extractable K and NH_4OAc-extracteable K. Total K was determined following digestion of 0.5 g soil sample with 10 mL of 48% HF and 1 mL of aqua regia. The 12 extracting solutions were 1M NaCl, 2M NaCl, 0.01M $CaCl_2$, Morgan, AB-DTPA, 1M NH_4OAC, 0.25M NH_4OAC, 1M MgOAC, 1M NaOAC, 2M HCl, 0.1M HNO_3, and 0.025M H_2SO_4. The K content of leaf samples was determined in 1g of each sample. The samples were dried and then ashed in 450°C for 4 h. 2M HCl was used to digest the samples. Potassium was measured on all filtrated extracts using a Corning 405 flame photometer.

Results and Discussion

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.89206.1423

The soils are all calcareous (average of 42.9 and 44.7% CCE in surface and subsurface, respectively), with pH in the range of 7.0-7.8. The textural classes were sandy clay loam, clay loam, and clay. The range of soluble potassium is between 4.8 to 32.7 with an average of 15.4 $mgkg^{-1}$, exchangeable potassium from 65.1 to 364 (with an average of 247 $mgkg^{-1}$, non-exchangeable potassium from 106 to 876 with an average of 515 mg kg^{-1}, structural potassium was from 761 to 7322 with an average of 4026 $mgkg^{-1}$and total potassium was from 1051 to 8110 with an average of 4493. Soluble, exchangeable, non-exchangeable, and structural potassium were 0.49, 9.6, 12.1, and 77.8%, of the total K, respectively. Among the 12 tested methods, 1.0 mol L^{-1} NH_4OAC extracted the highest amount of K (mean 229.3 mg kg^{-1}, ranging 64.9-384.2 mg kg^{-1}) and 1.0 mol L^{-1} MgOAC removed the lowest amount of K (mean 53.0 mg kg^{-1}, ranged 19.1-88.0 mg kg^{-1}). Correlation coefficients between K extracted by 12 extractants were positive and significant. The highest correlation between leaf K and soil-extracted K was observed with AB-DTPA, 0.25 M NH_4OAC, 1M NaCl, and Morgan-Wolfe extractants (r = 0.60, 0.59, 0.56, and 0.55, respectively). The lowest correlation was found with 2 M HCl and 0.025 M H_2SO_4 (r = 0.41 and 0.44, respectively). The potassium content in oak leaves, ranging from 0.65% to 1.18%, showed a significant correlation with exchangeable soil potassium. In 50% of the oak leaf samples, potassium levels were below the critical threshold of 1%. Overall, 1 M NaCl and 0.25 M NH_4OAC are recommended as potassium extractants due to their higher correlation with leaf K, simplicity of use, and cost-effectiveness

Conclusion

The results of this research showed that the range of the values of different forms of K in different parts of the province had a relatively large difference (6- and 8-times difference in exchangeable and non-exchangeable K values). The available forms of K in the western regions of the province, which receive less rainfall, were generally higher than in the more humid eastern regions. In 60% of the studied areas, the average exchangeable K was below the critical threshold of 250 واحد ها به یک شکل نوشته شود of soil. Similarly, the average leaf K content in 50% of the samples was below the critical level. Given the importance of K in the nutrition of oak trees and its role in helping them cope with environmental stress, particularly soil moisture deficiency, it is recommended to closely monitor K levels in the soils of the province's forested areas. Additionally, fertilization and foliar spraying of trees in certain forest areas should be considered.

Keywords: Ammonium acetate, Exchangeable potassium, Forest soil, Oak leaf

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۵۱۱-۵۲۴

ارزیابی وضعیت پتاسیم در خاک جنگل‌های بلوط استان کهگیلویه و بویراحمد

زینب براتی[۱]- حمیدرضا اولیایی[۲*]- ابراهیم ادهمی[۲]- مهدی نجفی قیری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

چکیده

زیست‌بوم جنگل‌های بلوط زاگرس، از گسترده‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی در حال تخریب در ایران است که از نظر حفاظت آب و خاک و مسائل اقتصادی و اجتماعی اهمیت بالایی دارد. تنش‌های رطوبتی در سال‌های اخیر موجب رو به زوال رفتن این جنگل‌ها در گستره وسیعی شده‌است. مقدار و شکل عنصر پتاسیم در خاک با توجه به نقشی که این عنصر در مقاومت گیاه به تنش رطوبتی دارد، اهمیت زیادی دارد. این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت کلی پتاسیم در خاک و درختان بلوط در ۱۰ منطقه جنگلی در استان کهگیلویه و بویراحمد و معرفی عصاره‌گیرهای مناسب برای استخراج پتاسیم صورت گرفت. عصاره‌گیرهای مورد استفاده شامل کلرید سدیم ۱ و ۲ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مورگان، بیکربنات آمونیم-DTPA، استات آمونیم ۱ و ۰/۲۵ مولار، استات سدیم ۱ مولار، استات منیزیم ۱ مولار، اسید نیتریک ۰/۱ مولار، اسید کلریدریک ۲ مولار و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار بوده‌اند. میانگین پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل به‌ترتیب ۱۵/۴، ۲۴۷، ۵۱۵، ۴۰۲۶ و ۴۴۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای DTPA، استات آمونیوم ۰/۲۵ مولار و کلرید سدیم ۱ مولار، بیشترین همبستگی را با پتاسیم برگ بلوط نشان دادند. مقدار پتاسیم موجود در برگ بلوط (در دامنه ۰/۶۵ تا ۱/۱۸ درصد) همبستگی معناداری با پتاسیم تبادلی خاک نشان داد. نتایج نشان داد که میزان پتاسیم در نیمی از نمونه‌های گیاه کمتر از حد بحرانی بوده‌است. عصاره‌گیرهای کلریدسدیم ۱ مولار و استات‌آمونیوم ۰/۲۵ مولار، به‌دلیل همبستگی بیشتر، سادگی روش و اقتصادی‌بودن جهت استخراج پتاسیم پیشنهاد می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: استات آمونیوم، برگ بلوط، پتاسیم تبادلی، خاک جنگل

مقدمه

منطقه رویشی زاگرس با کارکردهای زیست‌محیطی فراوان، مهم‌ترین رویشگاه جنگلی کشور محسوب می‌شود که در سالیان دراز دستخوش دگرگونی و تحولات زیادی شده و در حال حاضر نیز به‌دلیل عوامل مختلف محیطی و غیرمحیطی با پدیده زوال درختان بلوط روبه‌رو شده است (Kooh Soltani *et al.*, 2018). این زیست‌بوم از گسترده‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی در حال تخریب در ایران است که از نظر حفاظت آب و خاک و مسائل اقتصادی و اجتماعی اهمیت بالایی دارد. وسعت این جنگل‌ها به‌دلیل بهره‌برداری بی‌رویه با سرعت زیاد در حال کاهش است. براساس آمار گزارش-شده، بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ نزدیک به ۲۵ درصد از جنگل‌های بلوط زاگرس نابود شدند (Ostakh *et al.*, 2020). به‌نظر می‌رسد که کمبود بارندگی و تنش‌های خشکی سبب تشدید زوال درختان بلوط در این جنگل‌ها شده‌اند. براساس اطلاعات موجود، در حال حاضر گستره‌ای بیشتر از یک میلیون هکتار از جنگل‌های زاگرس به این پدیده مبتلاست (Pourhashemi & Sadeghi, 2020).

بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindlb.) اصلی‌ترین گونه درختی تشکیل‌دهنده این جنگل‌ها می‌باشد. احیا و غنی‌سازی این جنگل‌ها با گونه بلوط که مهمترین گونه چوبی تشکیل‌دهنده آن است، امری ضروری است. حاصلخیزی خاک‌های مناطق جنگلی علاوه بر مواد مادری و رسوبات اتمسفری به‌طور عمده از انباشت

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: owliaie@gmail.com
۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
https://doi.org/10.22067/jsw.2024.89206.1423

بقایای گیاهان یک‌ساله، برگ، میوه و شاخه‌های خشکیده بر روی خاک و تجمع آن در لایه حاصلخیز سطحی خاک تأمین می‌شود که در نهایت بستر بسیار مناسبی را برای تجدید حیات و رشد سریع آن و تأمین نیاز غذایی عناصر حیاتی در جنگل فراهم می‌کند. کاهش حاصلخیزی خاک موجب ضعف جدی درختان و کاهش توان آنها در برابر تنش‌های محیطی شده‌است (Jahanbazi *et al.*, 2022; Owliaie *et al.*, 2011).

پتاسیم نه تنها از نظر مقدار موجود در بافت‌های گیاهی، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، مهمترین کاتیون غذایی محسوب می‌شود و بعد از نیتروژن، پرمصرف‌ترین عنصر موردنیاز گیاه شناخته شده است. بسته به اندام گیاه، مرحله رشد، رقم، غلظت پتاسیم در خاک و شرایط اقلیمی ۱ تا ۱۰ درصد وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد (Epstein & Bloom, 2005). مقدار پتاسیم در خاک‌های معدنی در محدوده ۳-۰/۰۴ درصد می‌باشد (Dovlati *et al.*, 2008; Salih & Anderson, 1999). پتاسیم در فرآیندهای حیاتی متعددی از جمله فعالیت بیش از ۸۰ آنزیم، پایداری پهاش سلولی، تنظیم کربوهیدرات‌ها، باز و بسته شدن روزنه‌ها، تعادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها و فرآیند انتقال الکترون در غشای سیتوپلاسمی شرکت می‌کند (Saykhul *et al.*, 2013; Dovlati *et al.*, 2008).

اشکال پتاسیم در خاک شامل محلول، تبادلی، تثبیت‌شده در بین-لایه‌ها و ساختمانی می‌باشند. ریشه گیاهان، پتاسیم را از محلول خاک دریافت می‌نمایند. این ذخیره بسیار کم بوده و سایر اشکال از جمله تبادلی و غیرتبادلی و یا افزودن کود، در تأمین نیاز گیاه نقش دارند (Fathi *et al.*, 2014). میزان پتاسیم محلول بسیار کم و حدود ۵ درصد از کل نیاز گیاه را در طی فصل رشد تأمین می‌کند. در مقابل، پتاسیم تبادلی حدود ۹۰ درصد پتاسیم قابل جذب گیاه را شامل می‌شود. پتاسیم تبادلی به میزان زیادی برای تعیین قابلیت استفاده پتاسیم خاک و تعیین نیاز کودی گیاهان زراعی به کار برده می‌شود (Dobermann *et al.*, 1996). کمبود این عنصر در گیاه باعث از دست رفتن آب بافت گیاهی می‌شود و رشد شاخه‌ها و کارایی مصرف آب در گیاه را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر تنش رطوبتی در خاک، پخشیدگی یون پتاسیم را در محلول خاک محدود نموده و مانع جذب پتاسیم توسط ریشه گیاه می‌شود (Malakouti & Tabatabaei, 2001; Salih & Anderson, 1999).

محمدزاده و همکاران (Mohammadzadeh *et al.*, 2019) تأثیر شدت‌های مختلف خشکیدگی را بر جذب عناصر در درختان بلوط ایرانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت خشکیدگی، مقدار عناصر پتاسیم، منیزیم، کلسیم، فسفر، آهن، سدیم و نیتروژن در برگ درختان بلوط افزایش یافته‌است. اولیایی و همکاران (Owliaie *et al.*, 2011) در مطالعه اثر سایه‌انداز درخت بلوط بر تغییر ویژگی‌های خاک در سه منطقه جنگلی بویراحمد گزارش نمودند که پوشش درخت بلوط منجر به افزایش ۲/۲ برابری و ۱/۶ برابری پتاسیم تبادلی در دو عمق ۲۰-۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری شده است که ناشی از انتقال پتاسیم از لایه‌های عمقی به سطح خاک، توسط ریشه‌های عمقی درخت و انتقال به اندام هوایی و در نهایت افزوده‌شدن لاشبرگ‌ها به سطح خاک، عنوان شده‌است. جهانبازی و همکاران (Jahanbazi *et al.*, 2022) در بررسی دلائل خشکیدگی درختان بلوط استان چهارمحال و بختیاری اظهار نمودند که نقش عناصر پتاسیم و فسفر در افزایش مقاومت درختان در برابر تنش‌های محیطی و توقف روند خشکیدگی تعیین‌کننده است. نامبردگان پیشنهاد کردند که برای جلوگیری از پیشرفت خشکیدگی، درختان درگیر با پدیده زوال با اولویت این عناصر، محلول‌پاشی شوند.

اگرچه خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ممکن است حاوی مقادیر زیادی پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی باشد، اما ممکن است میزان پتاسیم تبادلی در این مناطق به‌دلیل کشت متمرکز گیاه کاهش یابد (Jalali & Zarrabi, 2006). در آزمون خاک برای ارزیابی مقدار یک عنصر غذایی، انتخاب عصاره‌گیر مناسب و تعیین همبستگی بین مقدار عنصر غذایی و پاسخ‌های گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Corey, 1987). جهت تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه، روش‌های عصاره‌گیری با استفاده از کاتیون‌های جانشین شونده به‌کار می‌رود (Liu & Bates,1990). پژوهش‌های صورت-گرفته طی دهه‌های اخیر، بیانگر آن است که هیچ یک از روش-های عصاره‌گیری پتاسیم برای شرایط متغیر مناسب نیستند، زیرا پتاسیم جذب شده از خاک طی دوران رشد گیاه، توسط تعدادی از عوامل فیزیکی، فیزیولوژیکی، شیمیایی و زیستی کنترل می‌شود (Kumari & Aiyer, 1993).

تعیین مقدار پتاسیم قابل جذب توسط گیاه در خاک امری ضروری است. ایجاد ارتباط بین مقدار عنصر استخراج شده توسط عصاره‌گیر با مقدار جذب آن عنصر توسط گیاه، یکی از مراحل اصلی آزمون خاک می‌باشد و شاخصی مهم در انتخاب روش آزمون خاک است (Beegle & Oravec, 1990). ملکوتی و غیبی (Malakouti & Gheibi, 1999) حد بحرانی ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (عصاره‌گیری شده با استات‌آمونیم یک نرمال) را برای خاک‌های زراعی و باغی ایران پیشنهاد دادند که با توجه به فقدان منابعی مرتبط با گونه‌های جنگلی، در این پژوهش همین مقدار مورد استناد قرار می‌گیرد. برای استخراج و اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم از عصاره‌گیرهای متفاوتی که توانایی‌های متفاوتی در استخراج این عنصر دارند، استفاده می‌شود. این عصاره‌گیرها به مشخصات فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها مرتبط می‌باشند. با اندازه‌گیری مقدار پتاسیم قابل دسترس گیاه می‌توان درباره وضعیت این عنصر در خاک و نیاز به مصرف یا عدم مصرف کود تصمیم درستی اتخاذ کرد. با این روش می‌توان با عصاره‌گیری از خاک و مشخص‌نمودن مقدار کمبود عناصر، مدیریت

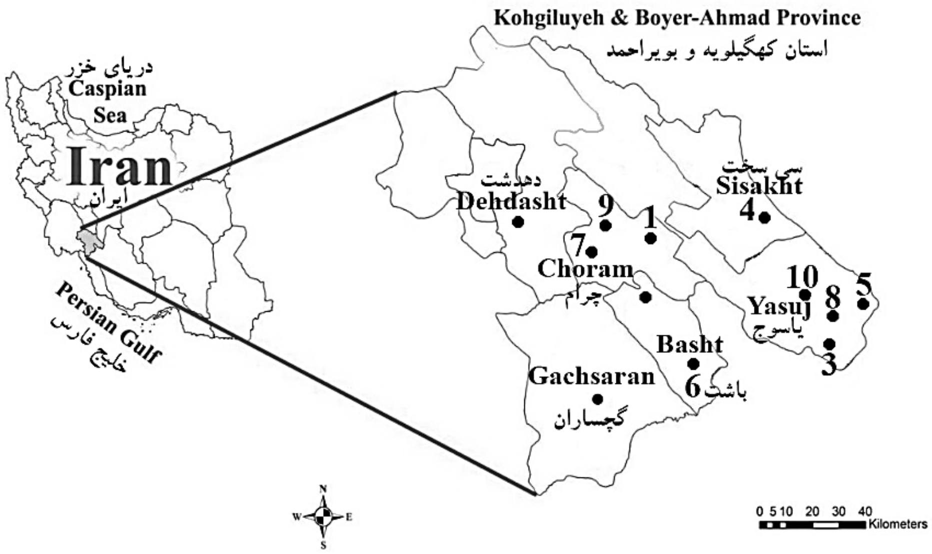
مناسب کودی را انجام داد (Simard & Zizka, 1994). استات–آمونیوم یکی از متداول‌ترین عصاره‌گیرهای مورد استفاده است. با این وجود این روش در خاک‌هایی با مقدار نسبتاً قابل توجه پتاسیم غیرتبادلی، مناسب نبوده چراکه استات‌آمونیوم، تنها شکل‌های محلول و تبادلی را استخراج می‌کند (Zarrabi & Jalali, 2008). عصاره‌گیر باید بخش‌های قابل دسترس عنصر درخاک را استخراج نموده و ضمناً روش پیشنهادی باید اقتصادی، سریع و قابلیت تکرارپذیری داشته باشد (Hosseinpur & Zarenia, 2012).

در ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی پتاسیم در برخی خاک‌های زیتون‌کاری استان فارس، ۱۲ عصاره‌گیر استفاده شدند و از بین آنها، کلریدسدیم ۲ مولار، استات‌آمونیم ۰/۲۵ مولار و استات‌سدیم ۱ مولار، بیشترین همبستگی را با پتاسیم برگ درختان زیتون داشتند (Ahrari *et al.*, 2017). تأثیر نوع عصاره‌گیر بر استخراج میزان پتاسیم در ۶۲ نمونه خاک مزارع سراسر کشور بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده، توسط عصاره‌گیرهای استات آمونیوم و مهلیچ–۳ فاقد اختلاف معنادار بوده اما این دو عصاره‌گیر با آمونیوم بیکربنات– DTPA اختلاف معنادار داشتند (Shahbazi *et al.*, 2022).

زیست‌بوم جنگلی زاگرس نقش مهمی در حفظ منابع خاک و آب کشور دارد. بیش از دوسوم از وسعت استان کهگیلویه و بویراحمد را عرصه‌های جنگلی به خود اختصاص می‌دهد. تنش‌های رطوبتی به‌ویژه در سال‌های اخیر بر پایداری جنگل‌های زاگرس اثرات قابل‌ملاحظه‌ای داشته‌است. پتاسیم به‌عنوان یک عنصر کلیدی در تغذیه گیاهان و کنترل تنش‌های رطوبتی گیاهی نقش مهمی دارد. تاکنون پژوهشی پیرامون وضعیت کلی پتاسیم در خاک جنگل‌های زاگرس، مرتبط با مهمترین گونه درختی این جنگل‌ها (بلوط)، صورت نگرفته‌است. معرفی عصاره‌گیری که واجد شرایط مطلوب باشد، حائز اهمیت است. لذا این پژوهش به‌منظور دستیابی به اهداف یادشده در برخی مناطق جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

ده منطقه جنگلی با پوشش غالب درختان بلوط، در بخش‌های مختلف استان کهگیلویه و بویراحمد (سردسیری و گرمسیری) انتخاب شدند (شکل ۱). جدول ۱ اطلاعات کلی مناطق مورد مطالعه را نشان‌می‌دهد. ارتفاع مناطق مورد مطالعه در دامنه ۷۱۷ تا ۲۰۱۷ متر از سطح دریا (به‌ترتیب مناطق چرام و سی‌سخت) بوده است.



شکل ۱- موقعیت نقاط برداشت نمونه در استان کهگیلویه و بویراحمد

Figure 1- Location of sampling points in Kohgiluyeh and Boyerahmad province

از خاک زیر سایه‌انداز در چهار جهت و به فاصله نصف لبه تاج درخت تا تنه، از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نمونه‌های خاک تهیه شدند. چهار نمونه به‌دست آمده اطراف هر درخت، مخلوط و از مجموع آن‌ها یک نمونه مرکب برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به روش‌های استاندارد تعیین شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (Day, 1965)، پهاش گل اشباع توسط دستگاه پهاش سنج، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل

اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استات سدیم یک نرمال پهاش ۸/۲ (Chapman, 1965)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک (Richards, 1954)، کربن آلی به روش سوزاندن تر، با بی‌کرومات پتاسیم (Jackson, 1975) اندازه‌گیری شدند. شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل به‌ترتیب در عصاره اشباع، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال پهاش خنثی، عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان و هضم با اسید فلوریدریک و تیزاب سلطانی تعیین شدند (Pratt, 1965). پتاسیم عصاره‌های به‌دست آمده به روش شعله‌سنجی با دستگاه Jenway 405 اندازه-گیری شدند. پتاسیم ساختمانی از تفاضل پتاسیم کل از پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط اسید نیتریک جوشان محاسبه گردید. عصاره‌گیرهای مورد استفاده برای استخراج پتاسیم قابل جذب گیاه که در منابع گوناگون مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول ۲ آمده است.

برداشت نمونه برگ درختان بلوط در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور از شاخه‌های یکسان انجام شد. نمونه‌های برگ، پس از شستشو با آب مقطر، در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و سپس آسیاب شدند. ۱ گرم از برگ آسیاب شده برداشته و در بوته چینی ریخته و به‌مدت ۴ ساعت در کوره با دمایی ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. خاکستر باقی مانده، با استفاده از اسید کلریدریک ۱ نرمال عصاره‌گیری شد و سپس غلظت پتاسیم آنها به روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد (Rowell, 1994). مقدار میانگین غلظت پتاسیم در سه ماه برداشت برای هر منطقه در نظر گرفته شد. نتایج بدست آمده از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند.

جدول ۱- اطلاعات کلی مناطق مورد مطالعه

Table 1- General data of the studied locations

شماره خاک Soil No.	منطقه Location	میانگین بارش Rainfall (mm)	میانگین دما Temperature (°C)	رژیم رطوبتی و حرارتی خاک SMTR	طول جغرافیایی Longitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude (m)	ارتفاع Elevation (m)	رده‌بندی خاک Soil classification
1	آبرم Abarm	530	21.4	Xeric-Thermic	485456	3399373	1134	Lithic Xerorthent
2	خیمند Kheymand	480	22.5	-Xeric- Hyper thermic	480220	3390800	860	Typic Xerorthent
3	پریکدان Perikedan	860	13.0	Xeric-Thermic	558692	3377529	1980	Typic Haploxeroll
4	سی‌سخت Sisakht	710	11.9	Xeric-Mesic	550488	3401194	2017	Typic Argixeroll
5	کاکان Kakan	970	11.4	Xeric-Mesic	557365	3397328	1889	Typic Calcixerept
6	باشت Basht	430	22.6	Ustic-Hyperthermic	523710	3354623	778	Typic Calciusetpt
7	چرام Choram	495	21.2	Xeric-Thermic	475582	3399158	717	Typic Haploxerept
8	وزگ Vezg	860	13.0	Xeric-Mesic	559403	3384720	1915	Typic Haploxeroll
9	آرند Arand	500	20.8	-Xeric- Hyper thermic	480092	3401492	927	Lithic Xerorthent
10	یاسوج Yasouj	820	15.1	Xeric-Thermic	558966	3392595	1934	Typic Haploxerept

جدول ۲- عصاره‌گیرهای شیمیایی مورد استفاده برای استخراج پتاسیم قابل استفاده خاک

Table 2- Chemical extractants used to extract available soil potassium

شماره No.	عصاره‌گیر Extractant	غلظت Concentration (M)	نسبت خاک:عصاره گیر Soil:Extractant ratio	زمان تکان دادن Shaking time (min)	منبع Reference
1	سولفوریک اسید Sulfuric acid	0.025	1:10	30	Knudsen *et al.*, 1990
2	کلریدریک اسید Hydrochloric acid	2	1:10	30	Tiwari *et al.*, 1995
3	مورگان-ولف* Morgan wolfe	-	1:10	30	Jones, 1990
4	استات سدیم Sodium acetate	1	1:10	10	Knudsen *et al.*, 1982
5	استات منیزیم Magnesium acetate	1	1:20	10	Mustscher, 1995
6	کلرید سدیم Sodium chloride	1	1:10	15	Martin & Sparks, 1983
7	کلرید سدیم Sodium chloride	2	1:10	15	Martin & Sparks, 1983
8	کلرید کلسیم Calcium chloride	0.01	1:10	60	Salmon, 1998
9	بیکربنات آمونیوم- DTPA** Ammonium bicarbonate-DTPA	-	1:10	10	Jones, 1990
10	استات آمونیوم Ammonium acetate	0.25	1:5	30	Rowell, 1994
11	استات آمونیوم Ammonium acetate	1	1:5	30	Rowell, 1994
12	نیتریک اسید Nitric acid	0.1	1:10	30	Knudsen *et al.*, 1982

*شامل استات سدیم و اسید استیک. **شامل بی‌کربنات آمونیم ۱ مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار

* Sodium acetate +Acetic acid. ** Ammonium bicarbonate 1M +DTPA 0.005 M.

نتایج و بحث

جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مـورد مطالعـه را نشان می‌دهد. خاک‌هایی که شماره آنها به ۱ ختم می‌شـود مربـوط به عمق ۰-۳۰ و خاک‌های که شماره آنها به ۲ ختم می‌شود، مربـوط به عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر می‌باشـند. مـاده مـادری خاک‌هـای مـورد مطالعه همگی آهکی است. حدود تغییرات pH در نمونه‌های خـاک در دامنه ۷/۰ تا ۷/۸ و میـانگین آن ۷/۳۶ مـی‌باشـد. pH خـاک توسـط میزان املاح خاک از جمله آهک، ماده آلی، میـزان بارنـدگی سـالیانه، فعالیت ریزموجودات، ریشه درختان، مواد مادری و غیره کنترل می‌شود (Owliaie *et al.*, 2011). دامنه تغییرات قابلیت هـدایت الکتریکی بین ۰/۴۴ (منطقه آرند) تا ۱/۳۸ (منطقه پریکدان) دسی‌زیمنس بر متر با میانگین آن ۰/۷۸ دسی‌زیمنس برمتر است. بر این اساس هیچکـدام از خاک‌ها دارای محـدودیت شـوری نبـوده و مقـدار قابلیـت هـدایت الکتریکی در عمق بالایی بیش از عمق پـایینی بـوده اسـت (۰/۹۳ در برابر ۰/۶۴ دسی‌زیمنس برمتر). میزان کـربن آلـی در محـدوده ۰/۲۶ (افق زیرین منطقه خیمند) تا ۷/۰۷ درصد (افق سطحی خاک منطقـه سی‌سخت) متغیر بوده و متوسـط آن ۳/۶۶ درصـد اسـت. بـر اسـاس نتایج، میزان ماده آلی با شرایط اقلیمی منطقه (بارش بیشـتر و دمـای کمتر) و میزان تراکم پوشش گیاهی همبسـتگی مثبـت داشـته اسـت. ظرفیت تبادل کاتیونی در محدوده ۲۲/۴ (منطقه آبرم) تا ۵۷/۶ (منطقه سی‌سخت) با میانگین ۴۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک بوده است. این ویژگی با مقدار رس و مـاده آلـی خاک‌هـا همبسـتگی داشـته اسـت. متوسط درصد شن، سیلت و رس ۳۱/۲، ۲۹/۱ و ۳۹/۷ درصد می‌باشد که موجب شده است، کلاس بافتی این خاک‌ها از رسی تا لومی رسی شنی متغیر باشند. کربنات کلسیم معادل نیز که به‌طور عمده بـه مـاده مادری و میزان آبشویی وابسته است در دامنه ۱۸ (منطقه سی‌سـخت) تا ۶۱ درصد (منطقه آبرم) با میانگین ۴۴ درصد گزارش شده است.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه [۱]

Table 3- Physical and chemical properties of the studied soils

شماره خاک Soil no.	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کلاس بافتی Textural class[2]	پ-هاش pH	کربن آلی OC	کربنات کلسیم معادل CCE	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	هدایت الکتریکی EC
	%					%	%	$cmol_{(+)}kg^{-1}$	dSm^{-1}
1-1	49.2	24.0	26.7	SCL	7.57	2.94	57.2	35.9	0.52
1-2	49.2	28.0	22.7	L	7.62	1.83	60.5	22.4	0.52
2-1	23.3	24.0	52.7	C	7.38	2.17	56.0	48.5	0.71
2-2	22.6	25.0	52.4	C	7.42	0.26	45.5	52.2	0.62
3-1	25.6	30.0	44.4	C	7.00	6.22	41.1	48.9	1.38
3-2	27.7	27.6	44.7	C	7.24	5.71	42.0	50.0	0.84
4-1	29.3	26.0	44.7	C	7.29	7.07	18.0	53.3	1.29
4-2	30.6	20.0	49.4	C	7.16	2.94	22.1	57.6	0.84
5-1	44.2	28.0	27.8	CL	7.11	5.20	43.5	43.5	0.74
5-2	39.4	27.4	33.2	CL	7.41	1.15	49.1	39.1	0.52
6-1	24.6	32.0	43.4	C	7.23	6.13	39.5	51.1	1.06
6-2	23.7	32.0	44.3	CL	7.31	3.49	43.6	48.9	0.60
7-1	24.6	36.4	39.0	CL	7.36	5.37	39.3	45.7	0.65
7-2	25.3	35.0	39.7	CL	7.39	3.24	45.4	42.4	0.56
8-1	27.3	30.0	42.7	C	7.11	6.18	42.4	42.4	1.10
8-2	19.3	30.0	50.7	C	7.16	2.85	49.7	45.7	0.82
9-1	21.2	38.4	40.4	C	7.57	2.26	41.1	35.9	0.62
9-2	25.6	28.0	46.4	C	7.58	1.06	48.8	37.0	0.44
10-1	47.1	26.0	26.9	SCL	7.57	4.43	51.2	31.5	1.22
10-2	45.3	33.0	21.7	L	7.80	2.64	55.0	28.3	0.61
Average 0-30 cm	31.7	29.5	38.8	-	7.32	4.80	42.9	43.6	0.93
Average 30-60 cm	30.8	28.6	40.5	-	7.41	2.52	44.7	42.3	0.64
میانگین Total Average	31.3	29.0	39.7	-	7.36	3.66	43.8	43.0	0.78

[۱] خاک‌های با شماره ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر می‌باشند.

[1]Soils numbered 1 and 2, correspond to the depth of 0-30 and 30-60 cm, respectively.

[2]SCL=Sandy clay loam, CL=Clay loam, L=Loam, C=Clay

شکل‌های مختلف پتاسیم و توزیع نسبی آنها در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. حدود تغییرات پتاسیم محلول بین ۴/۸ (خاک زیرین منطقه خیمند) تا ۳۲/۷ (خاک سطحی منطقه وزگ) با میانگین ۱۵/۴میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، پتاسیم تبادلی از ۶۵/۱ (خاک زیرین منطقه یاسوج) تا ۳۶۴/۱ (خاک سطحی منطقه باشت) با میانگین ۲۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، پتاسیم غیرتبادلی از ۱۰۶ (خاک زیرین منطقه یاسوج) تا ۸۷۶ (خاک سطحی منطقه سی‌سخت) و با میانگین ۵۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، پتاسیم ساختمانی از ۷۶۱ (خاک سطحی منطقه آبرم) تا ۷۳۲۲ (خاک عمقی منطقه سی‌سخت) با میانگین ۴۰۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و پتاسیم کل، از ۱۰۵۱ (خاک سطحی منطقه آبرم) تا ۸۱۱۰ (خاک زیرین منطقه سی‌سخت) با میانگین ۴۴۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. به جز پتاسیم ساختمانی، مقادیر بقیه شکل‌های پتاسیم در خاک سطحی بیش از خاک زیرین بوده است. از نظر درصد نیز پتاسیم‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی به‌ترتیب ۰/۴۹، ۹/۶، ۱۲/۱ و ۷۷/۸ درصد از مجموع کل پتاسیم را در خاک‌های مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. در اکثر نمونه‌ها، مقدار پتاسیم محلول در بخش سطحی خاک بیش از بخش عمقی است. دلیل این امر احتمالاً هوادیدگی بیشتر کانی‌های پتاسیم‌دار در سطح و آزاد شدن پتاسیم به محلول خاک، بازگشت بقایای گیاهی و انتقال پتاسیم موجود در محلول خاک از اعماق به سطح به‌دلیل تبخیر در سطح می‌باشد. نتایج مشابهی توسط احراری و همکاران گزارش شده است. بر اساس نتایج، مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی نیز در خاک‌های مختلف از سطح به عمق کاهش می‌یابد. هوادیدگی بیشتر کانی‌های میکایی در خاک‌های سطحی نسبت به خاک‌های زیرسطحی و در نتیجه بیشتر بودن مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزادشده بر اثر تیمار اسیدنیتریک در میکاهای هوادیده دارای لبه‌های بازشده، از دلائل این امر برشمرده شده است (Ahrari *et al.*, 2017).

جدول ٤- شکل‌های مختلف پتاسیم و توزیع نسبی آنها در خاک‌های مورد مطالعه ۱

Table 4– Different forms of potassium and their relative distribution in the studied soils

شماره خاک Soil No.	شکل‌های پتاسیم Potassium forms (mgkg-1)					شکل‌های پتاسیم Potassium forms (%)			
	محلول Solution	تبادلی Exch.	غیرتبادلی Non-Exch.	ساختمانی Structural	کل Total	محلول Solution	تبادلی Exch.	غیرتبادلی Non-Exch.	ساختمانی Structural
1-1	21.0	230	290	761	1051	2.00	21.9	27.6	48.4
1-2	9.62	108	177	1688	1865	0.52	5.79	9.50	84.2
2-1	22.9	300	324	2686	3010	2.27	29.6	32.1	35.9
2-2	4.80	244	601	3312	3913	0.16	8.37	20.6	70.8
3-1	20.6	258	536	4522	5058	0.41	5.10	10.5	83.9
3-2	20.6	255	599	5635	6234	0.33	4.08	9.61	85.9
4-1	24.4	360	876	6109	6985	0.35	5.15	12.5	81.9
4-2	8.92	301	788	7322	8110	0.11	3.71	9.72	86.4
5-1	16.6	253	347	3516	3863	0.43	6.54	8.99	84.0
5-2	10.0	114	224	3617	3841	0.26	2.96	5.83	90.9
6-1	12.9	364	790	5192	5982	0.22	6.09	13.2	80.4
6-2	17.0	299	667	3956	4623	0.37	6.47	14.4	78.7
7-1	14.5	279	570	4822	5392	0.27	5.18	10.5	83.9
7-2	5.40	163	466	4941	5407	0.10	3.02	8.61	88.2
8-1	32.7	351	657	4646	5303	0.62	6.63	12.3	80.3
8-2	12.6	245	406	4704	5110	0.25	4.79	7.94	87.0
9-1	11.4	165	409	4609	5018	0.23	3.28	8.16	88.3
9-2	4.90	148	377	6032	6409	0.07	2.30	5.88	91.7
10-1	30.7	115	126	1276	1402	0.40	1.02	14.1	84.4
10-2	5.80	65.1	106	1190	1296	0.47	5.95	7.08	86.5
Average 0-30cm	20.9	281.2	594.5	3813	4306	0.72	9.06	15.0	75.2
Average 30-60cm	9.8	213.5	434.6	4240	4681	0.26	4.74	9.62	85.4
میانگین Average	15.4	247.3	515	4026	4493	0.49	9.60	12.1	77.8

۱ خاک‌های با شماره ۱ و ۲ به‌ترتیب مربوط به عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر می‌باشند.

[1]Soils numbered 1 and 2, correspond to the depth of 0-30 and 30-60 cm, respectively.

ایجاد رابطه بین یک عنصر غذایی که به‌وسیله عصاره‌گیری از خاک استخراج شده با مقدار جذب شده آن عنصر در گیاه، یکی از مراحل مهم و اساسی در آزمون خاک به شمار می‌رود. با ایجاد همبستگی، مقدار غلظت عنصر غذایی استخراج شده از خاک با مقدار جذب شده توسط گیاه با یکدیگر مرتبط می‌شوند. جدول ۵ میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده از خاک‌ها توسط ۱۲ عصاره‌گیر مختلف و همچنین درصد پتاسیم موجود در برگ بلوط را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده به‌ترتیب توسط استات‌آمونیم ۱ مولار (۲۲۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و پس از آن توسط استات‌آمونیوم ۰/۲۵ مولار (۲۲۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، محلول DTPA (۱۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و محلول مورگان–ولف (۱۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده است. در مقابل کمترین پتاسیم توسط اسیدکلریدریک ۲ مولار به میزان ۴۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پس از آن توسط کلرید سدیم ۲ مولار و به میزان ۴۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم از خاک‌ها استخراج شده است.

در مقایسه چند عصاره‌گیر برای استخراج پتاسیم قابل جذب گندم در برخی از خاک‌های استان همدان، استات آمونیوم بیشترین میزان استخراج پتاسیم را داشته است. همچنین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در این پژوهش بر اساس مقادیر پتاسیم استخراج شده از خاک، به دو گروه نسبتا ضعیف شامل اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار، کلرید سدیم ۱ مولار و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و عصاره‌گیرهای نسبتا قوی شامل کلرید باریم ۰/۱ مولار و استات آمونیوم ۱ مولار تقسیم شده‌اند (Zarabi & Jalali, 2008). حسین‌پور و متقیان (Hosseinpour & Motaghian, 2013) در پژوهش‌های خود بر روی خاک‌های مرکزی ایران گزارش کردند از میان ۱۱ عصاره‌گیر استفاده شده، اسید نیتریک، کلرید باریم و استات آمونیوم، به‌ترتیب بیشترین پتاسیم و آب مقطر، مهلیچ ۱، کلرید استرانسیم ۰/۰۰۲ مولار و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، کمترین پتاسیم را از خاک عصاره‌گیری نمودند.

جدول ۵- مقدار پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیرها در خاک‌های مطالعه‌شده ($mgkg^{-1}$) و میزان پتاسیم در برگ بلوط

Table 5- The amount of potassium extracted by the extractants in the studied soils ($mgkg^{-1}$) and the amount of potassium in oak leaves

عصاره‌گیر Extractant	استات سدیم Na OAC 1 M	استات منیزیم Mg OAC 1 M	استات امونیوم NH_4 OAC 0.25 M	استات آمونیوم NH_4 OAc 1 M	کلرید سدیم NaCL 1 M	کلرید سدیم NaCL 2 M	کلرید کلسیم $CaCl_2$ 0.01 M	کلریدریک اسید HCl 2 M	سولفوریک اسید H_2SO_4 0.025 M	نیتریک اسید H_2NO_3 0.1 M	مورگان–ولف Morgan-Wolfe	*DTPA	پتاسیم برگ Leaf K (%)
Soil No.													
1-1	113.7	75.0	246.0	251.4	122.5	62.8	121.0	56.7	172.9	154.1	167.5	209.5	1.16
1-2	49.2	32.0	120.2	117.5	47.0	29.6	53.4	27.5	66.6	60.4	63.0	107.9	
2-1	115.8	88.0	318.5	322.5	131.9	85.5	150.5	69.7	212.2	178.6	186.1	270.1	1.07
2-2	48.3	31.5	176.6	248.6	43.8	27.4	38.4	43.8	49.3	54.8	66.5	153.8	
3-1	105.8	57.2	260.2	278.2	85.3	58.2	84.4	59.0	112.7	110.2	129.2	230.4	0.95
3-2	102.6	52.0	278.2	275.2	77.3	47.8	75.7	54.9	97.7	101.9	120.3	208.9	
4-1	102.5	66.4	388.2	384.2	99.6	53.8	81.5	84.5	115.9	123.0	160.5	317.8	1.10
4-2	62.7	44.1	303.6	309.6	68.3	41.6	50.4	57.6	79.8	85.8	107.4	253.3	
5-1	101.1	60.3	287.1	269.1	98.3	65.1	99.2	43.8	146.9	129.1	147.7	217.6	0.95
5-2	39.8	20.9	119.7	123.7	30.8	25.4	32.0	20.9	40.3	48.8	49.9	104.1	
6-1	120.5	72.6	381.1	377.1	114.7	75.3	105.7	70.2	158.8	153.5	196.9	317.9	1.05
6-2	94.1	56.3	313.0	316.0	93.0	60.0	82.7	49.7	111.1	120.1	143.3	258.6	
7-1	103.8	55.3	293.7	293.7	86.0	55.1	93.0	42.3	134.5	126.6	150.0	231.3	0.90
7-2	38.2	27.9	164.8	168.8	43.9	32.1	43.1	24.7	54.2	59.6	73.7	136.3	
8-1	123.8	73.4	377.2	384.2	118.2	78.8	125.9	49.7	169.1	166.5	192.6	313.9	1.18
8-2	96.7	45.1	260.2	257.2	76.0	50.7	72.2	32.2	96.1	95.0	103.6	209.5	
9-1	627.7	30.0	170.1	176.1	49.7	32.1	46.0	24.4	60.7	63.3	73.7	141.4	0.91
9-2	55.9	23.8	155.3	152.3	38.7	26.8	36.1	20.6	44.4	50.3	58.6	123.8	
10-1	58.2	37.3	122.5	115.5	46.0	31.3	61.8	41.7	81.3	72.5	70.6	105.8	0.65
10-2	42.8	19.1	57.9	64.9	22.5	17.3	32.5	21.5	39.2	40.7	36.7	56.7	
Average 0-30cm	91.6	56.8	248.2	259.3	86.6	54.4	88.1	49.3	124.1	116.1	134.1	214.1	-
Average 30-60cm	57.3	39.6	179.4	184.9	49.2	32.6	46.9	32.1	61.7	65.2	74.8	146.6	-
میانگین Average	81.9	53.0	221.3	229.3	74.7	47.9	74.3	44.8	102.2	99.8	115	198.4	0.92

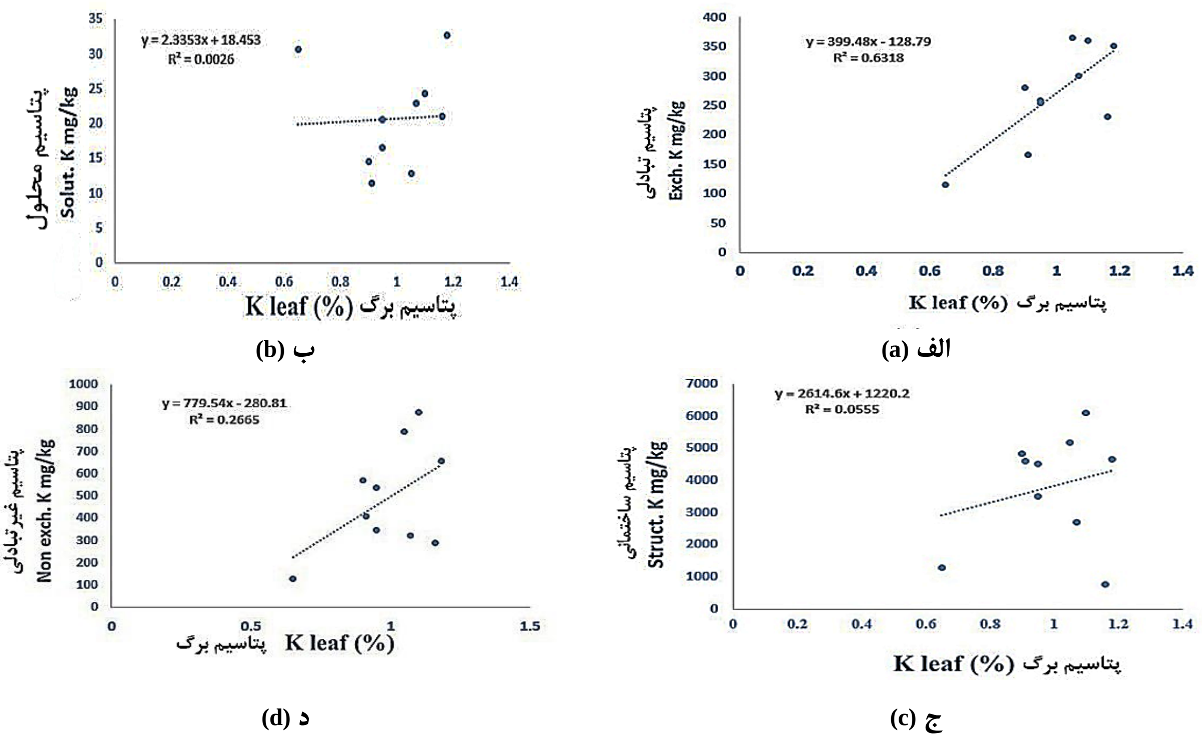
مقدار زیاد پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط استات‌آمونیوم را می‌توان به مشابه بودن بار، اندازه و انرژی هیدراتاسیون یون آمونیوم با یون پتاسیم مرتبط دانست. به همین دلیل، در فرآیندهای تبادلی یون آمونیوم به راحتی می‌تواند یون پتاسیم را از مکان‌های تبادلی خارج کند. دلیل کم بودن رهاسازی پتاسیم توسط کلریدکلسیم این است که یون کلسیم از طریق جانشینی، تبادل را با یون‌های دیگر انجام می‌دهد و اندازه و انرژی هیدراتاسیون بالای این یون، نسبت به یون پتاسیم باعث می‌شود که به سختی با پتاسیم‌های بین لایه‌ای مبادله شود، ولی با پتاسیم موجود روی لبه‌ها و سطوح کانی به راحتی جانشین می‌شود (Najafi Ghiri *et al.*, 2019a; Zarrabi & Jalali, 2008). البته توانایی کلسیم در استخراج پتاسیم به خاطر داشتن ظرفیت بیشتر، نسبت به سدیم بیشتر است. از طرف دیگر در خاک‌های مطالعه شده کانی‌های غالب موجود در خاک‌های مورد مطالعه را کانی‌های کلریت و ایلیت و در مقادیر کمتر در مناطق مرطوب‌تر اسمکتیت، تشکیل می‌دهند (Najafi Ghiri *et al.*, 2019b). کلریت به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی پایین و انبساط‌پذیری کم و حضور بین‌لایه‌های هیدروکسید آهن و آلومینیوم، از لبه و سطوح خارجی کمی برخوردار است و ایلیت نیز یک میکای دی‌اکتاهدرال غیرقابل انبساط سرشار از پتاسیم است. در کانی ایلیت، پتاسیم زیادی در بین اکسیژن‌های قاعده‌ای، ورقه‌های چهاروجهی (در فضای بین‌لایه‌ای) وجود دارد، اما به‌دلیل قوی‌بودن پیوند بین لایه‌ها و کاتیون‌های بین لایه‌ای، دسترسی به فضای بین‌لایه‌ای برای ملکول‌های آب یا سایر ملکول‌های قطبی امکان‌پذیر نبوده و این کانی دارای فضای بین لایه‌ای ثابتی می‌باشد. بنابراین لبه‌ها از هم باز نشده و در معرض محلول بیرونی قرار نمی‌گیرند و پتاسیم بین لایه‌ای برای عصاره‌گیرهای ضعیف به راحتی قابل استخراج نیست (Najafi Ghiri *et al.*, 2011; Sadri *et al.*, 2016).

بر اساس نتایج بدست آمده (جدول ۵) حداقل مقدار پتاسیم اندازه‌گیری‌شده در برگ بلوط در نمونه ۱۰ (منطقه یاسوج) به میزان ۰/۶۵ درصد و حداکثر مقدار مربوط به نمونه ۸ (منطقه وزگ) به میزان ۱/۱۸ درصد بوده است. میانگین پتاسیم تبادلی استخراج شده در دو عمق خاک در نمونه‌های ۱۰ و ۸ نیز مقدار حداقل و حداکثر پتاسیم در بین نمونه‌های مورد مطالعه بوده‌اند (به‌ترتیب ۹۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم بر

کیلوگرم) بوده است (جدول ۵) که بیانگر ارتباط بین پتاسیم در دسترس خاک با میزان پتاسیم در برگ درخت بوده است. نیاز گیاهان به پتاسیم بسته به گونه‌های گیاهی بسیار متفاوت است. محصولات درختی مانند گردو، هلو، سیب و غیره نیاز به پتاسیم نسبتاً کمتری دارند. مقدار بحرانی پتاسیم در برگ درختان از ۰/۷۵ تا ۱/۲۵ درصد (میانگین یک درصد) متغیر است. برای گونه‌های علفی، نیاز به پتاسیم بیشتر بوده و مقدار بحرانی در دامنه ۱/۲ تا ۲/۰ درصد است. حد کفایت پتاسیم یک درصد است، افزایش پتاسیم منجر به کاهش انتقال کلسیم و منیزیم می‌شود. به‌دلیل تحرک پتاسیم، هم در گیاه و هم در خاک، علائم کمبود به‌طور معمول با سرعت زیادی ایجاد شده و این علائم ابتدا در بافت مسن‌تر گیاه ظاهر می‌شود. غلظت پتاسیم در گیاه با افزایش سن کاهش می یابد (Jahanbazi *et al*., 2022).

مقدار میانگین پتاسیم در برگ درختان بلوط منطقه هلن استان چهارمحال و بختیاری ۱/۳۲ درصد گزارش شد (Jahanbazi *et al*., 2020). در پژوهش مشابهی در تنگه دالاب استان ایلام مقدار پتاسیم برگ بلوط در دامنه ۱/۷۴ تا ۲/۹۱ درصد با میانگین ۲/۴ درصد اعلام گردید (Maleki *et al*., 2014). همچنین مقادیر پتاسیم برگ در جنگل‌های بلوط در منطقه منج استان چهارمحال و بختیاری در دامنه ۱/۱۷ تا ۱/۲۱ درصدگزارش شده است (Jahanbazi *et al*., 2022). مقدار پتاسیم در لاشبرگ تازه درختان بلوط در منطقه بانه استان کردستان ۰/۹۴ درصد گزارش گردید (Ghasemi *et al*., 2016). در پژوهش صورت‌گرفته پیرامون ویژگی‌های خاک و عناصر غذایی برگ درختان بلوط ایرانی در منطقه کوهمره‌سرخی شیراز دامنه غلظت ۰/۵ تا ۱ درصدی پتاسیم با میانگین ۰/۷ درصدی در برگ درختان منطقه گزارش گردید (Zarafshar *et al*., 2021). مقدار میانگین پتاسیم اندازه‌گیری شده در برگ ۵ گونه بلوط در جنوب ترکیه در دامنه ۱/۰۹ تا ۱/۱۹ درصد بوده است (Ozkan *et al*., 2016). با توجه به نتایج این پژوهش، از ده نمونه برگ درخت بلوط نمونه‌برداری‌شده، مربوط به ۱۰ منطقه جنگلی، ۵ نمونه دارای پتاسیم کمتر از یک درصد بوده است (میانگین ۰/۹۲ درصد)، که بیانگر اهمیت توجه بیشتر به وضعیت این عنصر در خاک‌های جنگلی این استان دارد. عمده مناطق با کمبود پتاسیم در بافت گیاهی در مناطق پرباران شرقی استان بوده‌اند. بارش بیشتر موجب افزایش هوادیدگی کانی‌های میکایی غنی از پتاسیم و تغییر شکل آنها به کانی‌های با بار لایه‌ای کمتر و انبساط‌پذیری بیشتر می‌شود که پیامد آن کاهش میزان پتاسیم در دسترس در خاک می‌باشد.

از بین شکل‌های چهارگانه پتاسیم، بیشترین همبستگی میان پتاسیم برگ بلوط با پتاسیم تبادلی (r^2=0.63) و کمترین همبستگی با پتاسیم محلول (r^2=0.002) بدست آمد که بیانگر نقش مهم‌تر این بخش از پتاسیم در خاک در تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه بلوط را دارد (شکل ۲).



شکل ۲- همبستگی میان پتاسیم برگ بلوط با شکل‌های مختلف پتاسیم خاک (میانگین دو عمق)

Figure 2- Correlation between oak leaf potassium and different forms of soil potassium (Average of two depths)

جدول ۶، همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم با برخی ویژگی‌های مطالعه‌شده خاک را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول، پ‌هاش فقط با پتاسیم محلول، همبستگی (r=-۰/۴۴*) داشته است. قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی با هیچکدام از شکل‌های پتاسیم همبستگی معنادار نداشته‌اند. کربنات کلسیم معادل با همه شکل‌های پتاسیم بجز محلول همبستگی منفی داشته است. مقدار رس با همه شکل‌های پتاسیم بجز محلول همبستگی مثبت و مقدار شن فقط با مقدار پتاسیم کل همبستگی منفی داشته است (r=-۰/۴۸*). همه شکل‌های پتاسیم (بجز پتاسیم محلول) با یکدیگر همبستگی مثبت داشته‌اند. در پژوهشی که پیرامون وضعیت پتاسیم در افق‌های سطحی و زیرسطحی سری‌های غالب خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد صورت گرفت، مقادیر پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی با مقادیر رس، ظرفیت تبادل کاتیونی وکربن آلی همبستگی مثبت معنادار و با کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی نشان دادند (Shakeri *et al.*, 2015). وضعیت شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با ویژگی‌های خاک و کانی‌شناسی رس در برخی از خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد مطالعه شد. بر اساس نتایج مقادیر پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی با مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، کربنات کلسیم معادل و مقدار کانی ایلیت همبستگی معنادار و با مقادیر کربن آلی، شن و سیلت همبستگی نشان داده نشده است (Owliaie *et al.*, 2014).

پتاسیم در ذرات مختلف خاک مانند شن، سیلت و رس یافت می‌شود، اما مقدار نسبی آن در این ذرات متفاوت می‌باشد. پتاسیم بر اثر هوادیدگی ذرات خاک می‌تواند آزاد شده و در فازهای تبادلی و محلول قرار گیرد، اما مقدار و سرعت آزاد سازی به عوامل مختلفی بستگی دارد. نجفی قیری و جابری (Najafi Ghiri & Jaberi, 2013) بر نقش رس در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه تأکید کردند و نقش سیلت و شن را کمتر از ۴۰ در صد کل پتاسیم آزاد شده از خاک گزارش کردند. نقش خاک‌های زیرسطحی در تغذیه گیاهان و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه می‌تواند به اندازه خاک‌های سطحی مهم باشد (Beringer, 1985). گیاهان دارای ریشه‌های عمیق مانند بلوط می‌توانند مقدار قابل توجهی از پتاسیم مورد نیاز خود را از خاک‌های زیرسطحی جذب کنند. سرینیواسارائو و همکاران (Srinivasarao *et al.*, 2001) بیان کردند که مقدار کل شکل‌های پتاسیم در خاک زیرسطحی (۳۰-۱۵ سانتی متر) ۲۲ سری از خاک‌های هند به اندازه ۹۶ در صد خاک‌های سطحی می‌باشد.

جدول ٦- همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم با برخی ویژگی‌های خاک (میانگین دو عمق)

Table 6- Correlation of different forms of potassium with some soil characteristics (Average of two depths)

	پ‌هاش pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC	کربن آلی OC	کربنات کلسیم معادل CCE	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	پتاسیم کل Total K	پتاسیم ساختمانی Struc. K	پتاسیم غیرتبادلی Non Exch. K	پتاسیم تبادلی Exch. K	پتاسیم محلول Solut. K
پتاسیم محلول Solut. K	-0.44*	0.36	0.10	0.04	0.03	0.01	0.14	0.32	0.03	0.03	0.01	1
پتاسیم تبادلی Exch. K	-0.39	0.34	0.29	-0.58**	0.44*	0.03	-0.31	0.56**	0.83**	0.83**	1	
پتاسیم غیرتبادلی Non Exch. K	-0.43	0.32	0.28	-0.79**	0.46*	0.01	-0.38	0.59**	0.98**	1		
پتاسیم ساختمانی Struc. K	-0.34	0.25	0.14	-0.76**	0.48*	0.01	-0.41	0.99**	1			
پتاسیم کل Total K	-0.36	0.29	0.10	-0.74**	0.50*	0.01	-0.48*	1				

* و ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد

*,**statistically significant at 1 and 5% probability levels, respectively.

ارتباط بین پتاسیم غیرتبادلی و کانی‌های میکایی در خاک‌های آهکی استان فارس مطالعه شد. نتایج نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی ارتباط مثبت و معناداری با شکل‌های دیگر پتاسیم شامل تبادلی، ساختمانی و کل داشت؛ اما ارتباطی بین این شکل از پتاسیم با پتاسیم محلول گزارش نشد. به‌هرحال پتاسیم محلول در خاک‌ها دارای نوسانات بسیار زیادی بوده و عوامل متعددی بر آن تأثیر دارند و معمولاً تعادل بین شکل‌های پتاسیم بیشتر مربوط به شکل‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد (Najafi Ghiri *et al.*, 2011). در زیست‌بوم‌های جنگلی به‌دلیل وابستگی سیستم تغذیه‌ای گیاهی به چرخه عناصر، بخش زیادی از نیاز تغذیه‌ای گیاهان از طریق تجزیه بقایای گیاهی و لاشبرگ‌ها تامین می‌شود. در مطالعه‌ای آزادسازی عناصر پرنیاز از بقایای برگ بلوط در یک بازه زمانی دوساله مقایسه شدند. نتایج نشان داد که عنصر پتاسیم بیشترین آزادسازی را (۹۱ درصد) در مقایسه با عناصر منیزیم، کلسیم، گوگرد، فسفر و

نیتروژن داشته‌است. این پتاسیم به شکل محلول بوده و امکان جذب یا آبشویی سریع را دارد (Blair, 1988).

با توجه به نتایج جدول ۷، پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیر DTPA (r^2=۰/۶۰**) بیشترین همبستگی را با پتاسیم برگ گیاه نشان داده است و پس از آن استات آمونیوم ۰/۲۵ مولار (r^2=۰/۵۹۳**) و کلرید سدیم ۱ مولار (r^2=۰/۵۶۷**) بیشترین همبستگی ها را با پتاسیم برگ بلوط نشان دادند. کلرید سدیم ۲مولار (r^2=۰/۵۱۵*) و اسید نیتریک ۰/۱ مولار (r^2=۰/۵۱۵*) و مورگان–ولف (r^2=۰/۵۱۵*) که در یک دامنه هستند و استات منیزیم ۱مولار (r^2=۰/۵۰*)، استات سدیم ۱ مولار (r^2=۰/۴۵*) نیز در سطح ۵ درصد با پتاسیم برگ رابطه معنادار مثبت داشتند. با توجه به نتایج بدست آمده بین تمامی عصاره‌گیرهای استفاده شده رابطه معناداری وجود داشت. از میان عصاره‌گیرها تنها کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، اسید کلریدریک ۲ مولار و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار با پتاسیم گیاه همبستگی نشان نداده‌اند.

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین مقادیر میانگین پتاسیم استخراج شده در دو عمق توسط عصاره‌گیرها و پتاسیم برگ

Table 7- Correlation coefficients between average potassium of two depths extracted by extractants and leaf potassium

K leaf	Exch. K	DTPA	Morgan Wolfe	0.1M HNO_3	H_2SO_4 0.025M	HCl 2M	0.01 CaCl2 M	NaCl 2M	1M NaCl	NH_4 Acet. 1M	NH_4 Acet. 0.25M	Mg Acet. 1M	Na Acet. 1M	Extractant عصاره‌گیر
1	0.63**	0.60**	0.51*	0.51*	0.44	0.41	0.44	0.51*	0.56**	0.46	0.59**	0.50*	0.45*	K leaf
	1	0.97**	0.86**	0.78**	0.69**	0.81**	0.67**	0.81**	0.82**	0.74**	0.98**	0.77**	0.79**	Exch. K
		1	0.92**	0.85**	0.77**	0.84**	0.75**	0.87**	0.87**	0.78**	0.99**	0.84**	0.85**	DTPA
			1	0.98**	0.94**	0.80**	0.93**	0.96**	0.98**	0.73**	0.91**	0.97**	0.94**	Morgan Wolfe
				1	0.98**	0.75**	0.98**	0.98**	0.98**	0.68**	0.84**	0.99**	0.94**	0.1 HNO3 M
					1	0.71**	0.99**	0.96**	0.96**	0.62**	0.75**	0.97**	0.90**	H_2SO_4 0.025M
						1	0.68**	0.72**	0.79**	0.76**	0.82**	0.70**	0.73**	2M HCl
							1	0.99**	0.96**	0.61**	0.73**	0.97**	0.90**	CaCl2 0.01M
								1	0.97**	0.67**	0.86**	0.98**	0.93**	NaCl 2M
									1	0.67**	0.86**	0.98**	0.94**	NaCl 1M
										1	0.77**	0.66**	0.68**	NH_4 Acet.1M
											1	0.83**	0.85**	NH_4 Acet. 0.25M
												1	0.94**	Mg Acet. 1M
													1	Na Acet. 1M

* و ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد

*,**statistically significant at 1 and 5% probability levels, respectively.

در پژوهشی عصاره‌گیرهای اسید نیتریک ۰/۱ مولار، مهلیچ ۱، کلرید کلسیم ۰/۰۱مولار و آب مقطر برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت انتخاب شدند (Hosseinpur & Samavati, 2008). همچنین روش‌های عصاره‌گیری کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و اسید نیتریک ۰/۱ مولار به‌عنوان عصاره‌گیرهای مناسب تعیین پتاسیم قابل جذب برنج پیشنهاد شده‌اند (Shivaprakash *et al.*, 2008). پاندا و پاترا (Panda & Patra, 2018) با مطالعه ۲۴ نمونه خاک در هندوستان قابلیت استخراج هفت عصاره‌گیر پتاسیم را ارزیابی نمودند. براساس نتایج، قدرت استخراج عصاره‌گیرها از عصاره‌گیر اولسن، استات آمونیوم یک مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۲ مولار، بری و کورتز، اسید نیتریک یک نرمال، اسید نیتریک ۰/۱ نرمال و آب مقطر به‌ترتیب کاهش یافت. در نهایت عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک مولار، اسید نیتریک ۰/۱ نرمال و آب مقطر به‌عنوان عصاره‌گیرهای مناسب برای استخراج پتاسیم قابل‌استفاده معرفی شدند. در پژوهش دیگری، عصاره‌گیرهای شیمیایی به‌منظور تعیین پتاسیم قابل استفاده پسته در خاک‌های رفسنجان ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که

عصاره‌گیرهای استات سدیم مولار و کلرید سدیم ۲ مولار به‌دلیل داشتن بالاترین ضریب همبستگی با غلظت پتاسیم برگ و اندام هوایی پسته مناسب‌ترین عصاره‌گیرها می‌باشند. کاووسی و کلباسی (Kavoosi & Kalbasi, 2008) در مطالعات خود جهت مقایسه روش‌های عصاره‌گیری پتاسیم خاک، برای تعیین سطح بحرانی پتاسیم برای برنج در تعدادی از خاک‌های شالیزاری استان گیلان گزارش کردند که استات منیزیم، اسید سولفوریک، عصاره‌گیر مورگان و کلرید کلسیم یک صدم مولار همبستگی بالایی با غلظت پتاسیم گیاه داشته‌اند.

در نهایت با توجه به نتایج بدست‌آمده، هر چند DTPA و استات آمونیوم ۰/۲۵ مولار و کلرید سدیم ۱ مولار هر سه عصاره‌گیرهای مناسبی تشخیص داده شده‌اند، اما با در نظر گرفتن سهولت و سرعت کار و اقتصادی بودن، عصاره‌گیرهای کلریدسدیم ۱ مولار و استات-آمونیوم ۰/۲۵ مولار، با توجه به جنبه‌های اقتصادی و زمان، جهت استخراج پتاسیم خاک‌های جنگلی مطالعه‌شده و مناطق مشابه در استان کهگیلویه و بویراحمد توصیه می‌شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که دامنه مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم در بخش‌های مختلف استان تفاوت نسبتاً زیادی داشته است (تفاوت ۶ و ۸ برابری به‌ترتیب در مقادیر پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی). مقادیر اشکال قابل جذب پتاسیم در مناطق غربی استان با بارش کمتر، دراکثر موارد بیشتر از مناطق مرطوب‌تر شرقی بوده است. میانگین مقدار پتاسیم تبادلی در ۶۰ درصد مناطق مطالعه شده، کمتر از مقادیر معمول پیشنهادی برای خاک‌ها بوده است، گرچه نیاز به بررسی بیشتر وضعیت پتاسیم خاک‌های جنگلی زاگرس وجود دارد. همچنین میزان میانگین پتاسیم برگ در ۵۰ درصد نمونه‌ها نیز کمتر از حد بحرانی (یک درصد) بوده است. نظر به اهمیت زیاد پتاسیم در تغذیه درختان بلوط و مقابله با تنش‌های محیطی، به‌ویژه کمبود رطوبت خاک، توجه بیش از پیش به شرایط این عنصر در خاک مناطق جنگلی استان و مناطق مشابه توصیه می‌گردد. حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک به‌منظور بازگشت عناصر به گیاه نقش مهمی در چرخه این عنصر دارد. همچنین انجام برخی طرح‌های پژوهشی به‌منظور بررسی اثرات کوددهی (خاکی یا محلول‌پاشی) بر وضعیت پتاسیم درختان بلوط نیز توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه یاسوج به خاطر تأمین مالی این پژوهش در قالب طرح پیشنهادی شماره ۸۸۹۰-۱۴۰۰ قدردانی می‌نمایند.

References

1- Ahrari, M., Owliaie, H.R., Adhami, E., & Najafi Ghiri, M. (2017). Study of potassium status and evaluating chemical extractants for estimating available K in soils of some olive orchards of Fars Province. *Journal of Water and Soil*, *30*(3), 835-845. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v31i3.54445

2- Beegle, D.B., & Oravec, D.C. (1990). Comparison of field calibration for Mehlich 3 P and K with Bray- Kurtz P1 and ammonium acetate K for corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *21*, 1025-1036. https://doi.org/10.1080/00103629009368288

3- Beringer, H. (1985). Adequacy of soil testing for predicting fertilizer requirements. *Plant and Soil*, *83*, 21–37.

4- Blair, J.M. (1988). Nutrient release from decomposing foliar litter of three tree species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. *Plant and Soil*, *110*, 49-55.

5- Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. p. 891-901. In: Black, C.A. (ed.) Methods of Soil Analysis. part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.

6- Corey, R.B. (1987). Soil testing procedures: Correlation. In: JR Brown et. al. (Eds.), Soil testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretaion. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 15-22.

7- Day, P.R. (1965). Particle fractionation and particle size analysis: 545-565. In: Black, C.A., (Ed.). Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, 1572p.

8- Dobermann, A., Sta Cruz, P.C., & Cassman, C.G. (1996). Potassium balance and potassium supplying power in intensive irrigated rice systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *46*, 1-10.

9- Dovlati, B., Oustan, Sh., & Samadi, A. (2008). Different forms of potassium and Q/I relationships in soils of sunflower (Khoy area). *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *46*, 623-636. (In Persian with English abstract)

10- Epstein, E., & Bloom, A.J. (2005) Mineral nutrition of plants: Principles and Perspectives. 2th Ed. Sinauer Associates Inc., Sunderland Mass.

11- Fathi, S., Samadi, A., Davari, M., & Asadi Kapourchal, S. (2014). Evaluating different extractants to determine available potassium for corn in calcareous soils of Kurdistan province. *Cereal Research*, *4*(3), 253-266. (In Persian with English abstract)

12- Ghasemi, F., Veisi, G., & Hosseini, V. (2016). Investigating nutrient quality and litter decomposition of Lebanon Oak (*Quercus libani*) in early stages of decomposition process in the northern Zagros forests (Case study: Hoare Khul Forests in the City of Baneh). *Journal of Zagros Forests Researches*, *3*(1), 1-17. (In Persian)

13- Hosseinpur, A.R., & Samavati, M. (2008). Evaluation of chemical extractants for the determination of available potassium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *39*, 1559–1570. https://doi.org/10.1080/00103620802006693

14- Hosseinpur, A.R., & Motaghian, H.R. (2013). Application of kinetic models in describing soil potassium release characteristics and their correlations with potassium extracted by chemical methods. *Pedosphere*, *23*(4), 482–492. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60041-7

15- Hosseinpur, A.R., & Zarenia, M. (2012). Evaluating chemical extractants to estimate available potassium for pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in some calcareous soils. *Plant, Soil and Environment*, *58*(1), 42-48. https://doi.org/10.17221/314/2011-PSE

16- Jackson, M.L. (1975). Soil Chemical Analysis: Advanced Course. University of Wiscon., College of Agriculture, Department of Soil, Madison, 930p.

17- Jahanbazi, H., Iranmanesh, Y., Talebi, M., & Pourhashemi, M. (2022). The effect of spray solution of nutrition elements on the amount of macro elements on healthy and drought oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in Monj region of Chaharmahal and Bakhtiari province. *Ecological Iran Forest, 10*(19), 9-21. (In Persian with English abstract)

18- Jahanbazi, H., Iranmanesh, Y., Talebi, M., Shirmardi, H., Mehnatkesh, A., Pourhashemi, M., & Habibi, M. (2020). Effect of physiographic factors on absorption of essential nutritional elements of the leaf in Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) affected by decline (Case study: Helen forest, Chaharmahal & Bakhtiari province). *Journal of Plant Research*, *33*, 544-553. https://doi.org/20.1001.1.23832592.1399.33.3.18.2

19- Jalali, M., & Zarabi, M. (2006). Kinetics of nonexchangeable-potassium release and plant response in some calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil*, *169*, 96-204. https://doi.org/10.1002/jpln.200521772

20- Kavoosi, M., & Kalbasi, M. (20080. comparison of soil potassium extracting methods to determine critical level of potassium for rice in some paddy soils of Gilan province. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *4*(3), 57-69. (In Persian with English abstract)

21- Kooh Soltani, S., Alesheikh, A.A., Ghermezcheshmeh, B., & Mehri, S. (2018). An evaluation of potential Oak decline forest of the Zagros using GIS, RS, FAHP methods. *Ecohydrology*, *5*(2), 713-725. https://doi.org/10.22059/ije.2018.225917.448

22- Kumari, P.P., & Aiyer, R.S. (1993) Soil test and crop response studies for potassium in Laterite/red loam soils of Kerala. *Journal of Potassium Research*, *9*, 62-65.

23- Liu, L., & Bates, T.E. (1990) Evaluation of soil extractants for prediction of plant available potassium in Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science*, *70*, 607-615.

24- Malakouti, M.J., & Gheibi, M.N. (1999). Determination of critical levels of nutrients in soil, plant, and fruit for the quality and yield improvements in strategic crops of Iran. High Council for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture, Karaj, Iran, pp. 92. (In Persian)

25- Malakouti, M.J., & Tabatabaei, S.J. (2001). *Innovative approach to balanced nutrition of fruit trees*. Tehran, Iran. Agricultural education Publication. (In Persian)

26- Maleki, A., Noorbakhsh, N., Bazgir, M., & Mahdavi, A. (2014). Determining and comparing the amount of macronutrients (N, P and K) in the leaves of Iranian oak species in two stands of seed-bearing and shoot-bearing western oak (case study: Dalab Strait, Ilam). Proceeding of The Second National Forest Science Student Conference, Karaj, Iran. (In Persian)

27- Mohammadzadeh, H., Mirzaei, J., Farashiani, M.A., & Naji, H. (2019). The effect of different intensities of drought on the uptake of elements in the wood of Persian oak (*Quercus brantii*). Second National Knowledge and Innovation Conference in Wood and Paper Industry" held in Taleqan. (In Persian)

28- Najafi-Ghiri, M., & Jaberi, H.R. (2013). Effect of soil minerals on potassium release from soil fractions by different extractants. *Arid Land Research and Management*, *27*(2), 111-127. https://doi.org/10.1080/15324982.2012.719571

29- Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S.S., & Koohkan, H. (2011). Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Research and Management*, *25*(4), 313-327. https://doi.org/10.1080/15324982.2011.602177

30- Najafi-Ghiri, M., Niazi, M., Khodabakhshi, S., Boostani, H.R., & Owliaie, H.R. (2019a). Mechanisms of potassium release from calcareous soils to different salt, organic and inorganic acid solutions. *Soil Research*, *57*(3), 301-309. https://doi.org/10.1071/SR18301

31- Najafi-Ghiri, M., Rezabigi, S., Hosseini, S., Boostani, H.R., & Owliaie, H.R. (2019b). Potassium fixation of some calcareous soils after short term extraction with different solutions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *65*(7), 897-910. https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1537485

32- Owliaie, H.R., Adhami, E., Faraji, H., & Fayyaz, P. (2011). Influence of oak (*Quercus brantii* Lindl.) on selected soil properties of oak forests in Yasouj Region. *Journal of Water and Soil Science*, *15*(56), 193-207. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.24763594.1390.15.56.15.5

33- Owliaie, H.R., Heydarmah, S., Adhami E., & Najafi Ghiri, M. (2014). Kinetics of non-exchangeable potassium release in relation to clay mineralogy in some calcareous soils of Kohgilouye Province. *Journal of Water Soil Science, 18*(68), 99-110. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.24763594.1393.18.68.10.5

34- Ostakh, E., Soosani, J., Abdolkhani, A., & Naghavi, H. (2020). Impact of decline on the concentration of chemical elements in the wood of declined and healthy Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *27*(4), 413- 424. (In Persian with English abstract)

35- Ozkan, C.O., Atalay, A.I., Kurt, O., & Kamalak, A. (2016). Effect of species on macro and micro mineral composition of oak leaves with respect to sheep requirements. *Livestock Research for Rural Development. 28*, 107. https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1063719

36- Panda, R., & Patra, S.K. (2018). Assessment of suitable extractants for predicting plant-available potassium in Indian coastal soils. *Communication Soil Science and Plant Analysis, 49*, 1157-1167. https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1455845

37- Pourhashemi, M., & Sadeghi, S.M.M. (2020). A review on ecological causes of oak decline phenomenon in forests of Iran. *Ecological Iran Forest*, *8*(16), 148-164. (In Persian)

38- Pratt, P.F. (1965). Potassium. 1022–1030. In: C. A. Black. *Methods of Soil Analysis*, 215 part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.

39- Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. U. S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. Washington, D C, USA.

40- Rowell, D.L. (1994). *Soil Science: Methods and applications*. Longman Scientific and Technical, UK.

41- Sadri, N., Owliaie, H.R., Adhami, E., & Najafi Ghiri, M. (2016). Investigation of different forms of potassium as a function of clay mineralogy and soil evolution in some soils of Fars Province. *Journal of Water and Soil*, *30*(1), 172-185. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v30i1.38048

42- Salih, N., & Anderson, F. (1999). Nutritional status of a Norway spruce stands in SW Sweden in response to compensatory fertilization. *Plant and Soil*, *209*, 85-100.

43-Saykhul, A., Chatzistathis, T., Chatzissavvidis, C., Koundouras, S., Therios, I., & Dimassi, K. (2013). Potassium utilization efficiency of three olive cultivars grown in a hydroponic system. *Scientia Horticulturae, 162*, 55-62. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.036

44- Shahbazi, K., Cheraghi, Ch., Marzi, M., & Hasheminasab Zavareh, K.S. (2022). The effect of extractant type and soil/extractant ratio on the extraction of soil available potassium. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 53*(7), 1481-1497. (In Persian with English abstract)

45- Shakeri, S., Abtahi, A., Karimian, N.A., Baghernejad, M., & Owliaie, H. (2015). Kinetics of nonexchangeable potassium release in surface and subsurface horizons of predominant soil series in Kohgilouye-va-Boyerahmad Province. *Journal Water Soil Science, 19*(73), 301-319. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.73.301

46- Shivaprakash, B.L., Gurumurthy, K.T., & Chidanandappa, H.M. (2008). Evaluation of suitable extractant for available potassium in rice soils of Tunga command area in Karnataka. *Mysore Journal of Agricultural Sciences, 42*, 264–267.

47- Simard, R.R., & Zizka, J. (1994). Evaluating plant available potassium with strontium citrate. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, *25*(9-10), 1779-1789.

48- Srinivasarao, S., Rupa, T.R., Subba, Rao A., & Bansal, S.K. (2001). Subsoil potassium availability in twenty-two benchmark soil series of India. *Communication in Soil Science and Plant Analysis, 32*(5–6), 863–876.

49- Zarafshar, M., Matinizadeh, M., Negahdarsaber, M.R., Pourhashemi, M., Bordbar, S.K., & Ziaeian, M.R. (2021). Soil characteristics and leaf nutrients of healthy and declined Brants oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *29*(2), 152-140. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijfpr.2021.352613.1967

50- Zarrabi, M., & Jalali, M. (2008). Evaluation of extractants and quantity–intensity relationship for estimation of available potassium in some calcareous soils of western Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39*(17-18), 2663-2677. https://doi.org/10.1080/00103620802358797